

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ ZKRUTNÉ TUHOSTI KAROSÉRIE S VYUŽITÍM FOTOGRAMMETRICKÉHO ZAŘÍZENÍ TRITOP

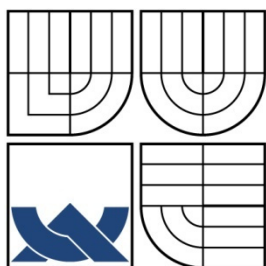
(veřejná verze)

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR DERNER

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ ZKRUTNÉ TUHOSTI KAROSÉRIE S VYUŽITÍM FOTOGRAMMETRICKÉHO ZAŘÍZENÍ TRITOP

MEASUREMENT OF CHASSIS TORSION STIFFNESS WITH USE OF OPTICAL SYSTEM
TRITOP

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR DERNER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR PORTEŠ, Dr.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Demer

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Měření zkrutné tuhosti karosérie s využitím fotogrammetrického zařízení TRITOP

v anglickém jazyce:

Measurement of Chassis Torsion Stiffness with Use of Optical System TRITOP

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Seznámení se s metodikou měření torzní tuhosti karosérie používané ve Škoda-Auto
2. Seznámení se s technickými možnostmi systému Tritop
3. Aplikace a úprava metodiky vyvinuté na ÚADI FSI VUT pro měření torzní tuhosti karosérie pomocí systému Tritop na specifické podmínky dynamické zkušebny Škoda-Auto

Cíle diplomové práce:

Cílem je realizace měření torzní tuhosti karosérie v dynamické zkušebně Škoda-Auto, zpracování výsledků měření a porovnání dosud používané metodiky s metodou optickou.

Seznam odborné literatury:

REIMPELL, J., STOLL, H., EDWARD, A. The automotive chassis - engineering principles. Arnold, London 1996. ISBN 0-340-61443-9.

VLK, F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-234-5273-6, Brno 2000.

VLK, F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-238-6573-0, Brno 2000.

KARPIŠEK, Z. Matematika IV Statistika a pravděpodobnost, VUT Brno 2003"

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Porteš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 18.11.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Petr DERNER

Měření zkrutné tuhosti karosérie s využitím fotogrammetrického zařízení TRITOP

DP, ÚADI, 2009, str. 74, obr. 47

Diplomová práce se zabývá měřením torzní tuhosti karoserie s využitím fotogrammetrického zařízení TRITOP, které je realizováno v dynamické zkušebně Škoda Auto a.s. současně s jejich dosud používanou metodikou. S ohledem na objektivní porovnání obou měřících metod a dosahovanou přesnost měření je sestaven optimální způsob průběhu měření a jeho vyhodnocování.

Klíčová slova: torzní tuhost karoserie, zkrutný moment, fotogrammetrické zařízení TRITOP, TRITOP Deformation, deformace, karoserie automobilu

Anotation

Petr DERNER

Measurement of chassis torsion stiffness with use of optical system TRITOP

MT, IAE, 2009, 74 pp., 47 fig.

This master's thesis deals with measurement of torsional rigidity of a vehicle body with the application of TRITOP optical measuring system. The measurement was made in dynamic test-room of Škoda Auto a.s. together with a methodology used by this company. In the light of the objective comparison of both measuring methods and their accuracy, the optimal method of measurement and evaluation was made.

Key words: chassis torsion stiffness, torsion moment, optical measuring system TRITOP, TRITOP Deformation, deformation, vehicle body

Bibliografická citace

DERNER, P. *Měření zkrutné tuhosti karosérie s využitím fotogrammetrického zařízení TRITOP*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 74 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Dr.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Petra Porteše, Dr. a s použitím uvedené literatury.

V Brně, dne 12. května 2009

Petr Derner

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Portešovi, Dr., který mi svými radami a cennými připomínkami pomáhal při zpracování diplomové práce a také firmě Škoda Auto a.s., která mi vypracování diplomové práce umožnila. Poděkování patří především mému odbornému konzultantovi panu Ing. Květoslavu Zdražilovi a ostatním zaměstnancům dynamické zkušebny.

Obsah

Úvod	10
1. Karoserie osobního automobilu.....	11
1.1 Namáhání karoserie	11
1.2 Torzní tuhost karoserie	13
1.2.1 Faktory ovlivňující torzní tuhost karoserie.....	13
1.2.2 Vliv na jízdní vlastnosti.....	14
2. Princip měření torzní tuhosti karoserie na ÚADI.....	15
3. Měřicí systém TRITOP	19
3.1 Sestava fotoaparátu	20
3.2 Referenční body a kalibrační tyče.....	20
3.3 Snímání 3D objektu	21
3.4 TRITOP Deformation	23
3.4.1 Oblasti využití	23
3.4.2 Měřicí procedura.....	24
Tato část práce podléhá utajení!	25
Závěr.....	69
Seznam použitých zdrojů.....	70
Seznam použitých zkratk a symbolů	71

Úvod

Bezpečnost, jízdní vlastnosti, komfort. To jsou jedny z mnoha témat často diskutovaných v médiích i mezi samotnými motoristy. Mnozí z nich si pod těmito pojmy prvně představí systémy jako ABS, airbagy, sportovně laděný podvozek nebo automatickou klimatizaci. Z jejich strany je však často opomíjen jeden velmi důležitý fakt ovlivňující více či méně všechny uváděné vlastnosti – tuhost karosérie.

Při běžném provozu osobního automobilu se totiž vyskytuje mnoho vlivů a faktorů, vyvolávajících jeho buzení. Patří mezi ně například silniční nerovnosti, průjezd zatáčkou, akcelerace a decelerace vozidla nebo zpětné reakce od motoru a hnacího ústrojí. Karoserie namáhaná staticky i dynamicky se následkem toho kroutí, ohýbá a vibruje. Její vysoká tuhost je tedy důležitá nejen z hlediska zajištění pasivní bezpečnosti při nehodě, kdy je žádoucí co největší pohlcení nárazové energie a zároveň zachování prostoru pro přežití posádky, ale nemalou měrou ovlivňuje i bezpečnost aktivní, neboť má vliv na jízdní vlastnosti vozidla. Podílí se i na míře komfortu posádky, kdy při větších deformacích karoserie a částí, které jsou s ní spojeny, jako např. palubní deska, může docházet ke vzniku vibrací a nepříjemných zvuků. Tuhost karoserie je tedy důležitou vlastností vozidla, která je testována a vyhodnocována již ve fázi jeho vývoje pomocí MKP výpočtů a následně ověřována na reálných prototypch ve zkušebnách.

Cílem této diplomové práce je realizace měření torzní tuhosti karoserie v dynamické zkušebně firmy Škoda Auto a.s., zpracování výsledků měření a porovnání dosud používané metodiky s metodou optickou. Není snahou stávající metodiku nahradit, ale ověřit vzájemně naměřená data, popřípadě využít systému TRITOP ke zjištění deformací na takových místech karoserie, kde by bylo měření pomocí dráhových snímačů, které jsou používány v případě stávající metodiky, obtížné. Získané výsledky by mohly posloužit například výpočtářům pro porovnání s deformacemi analyzovanými pomocí MKP na virtuálních modelech.

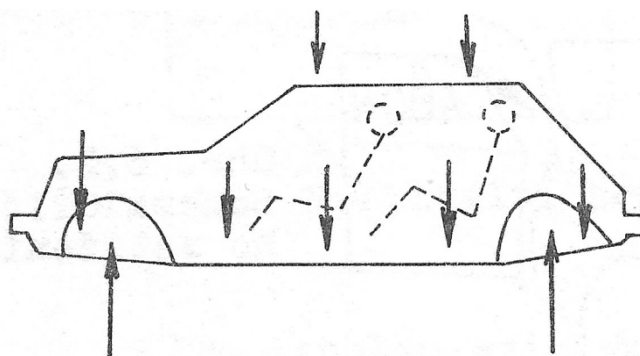
1. Karoserie osobního automobilu

V současné době jsou osobní automobily konstruovány výhradně se samonosnou karoserií, která tvoří jejich podstatnou část a výrazně ovlivňuje celou řadu funkčních vlastností. Její vnitřní tvarování předurčuje ergonomické poměry pro pobyt posádky ve vozidle, což je rozhodujícím kritériem ovlivňujícím jízdní komfort. Na vnějších tvarech je závislé nejen samotné estetické hodnocení vozidla, ale i jeho aerodynamické vlastnosti mající vliv na jízdní vlastnosti a hospodárnost provozu. Na konstrukčním provedení karoserie závisí míra její tuhosti a tím i schopnost odolávat provozním namáháním bez výrazné změny funkčních vlastností.

1.1 Namáhání karoserie

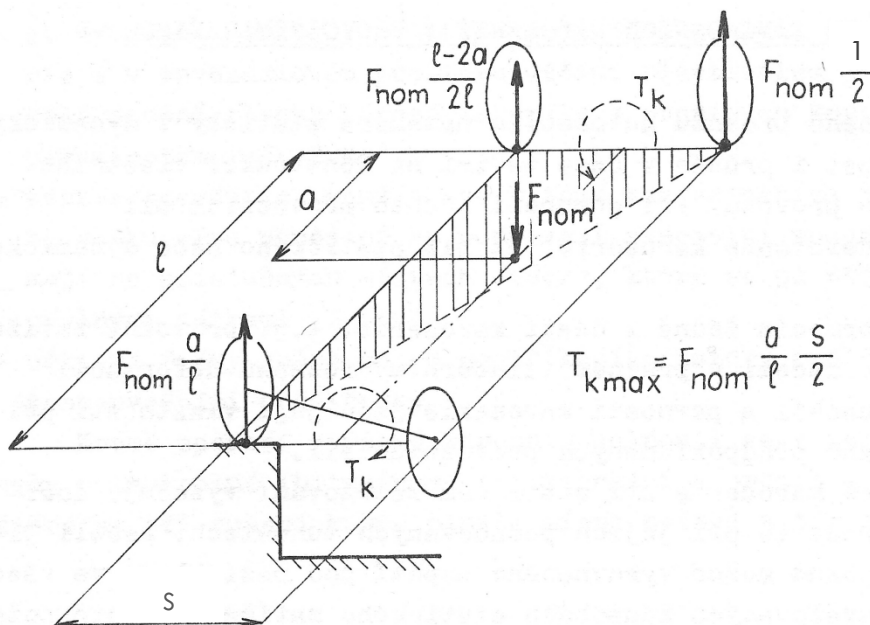
Informace čerpány z literatury [1], kde je tato problematika detailněji rozebrána. Při běžném provozu automobilu je karoserie namáhána staticky i dynamicky souborem sil, jejichž velikost i časový průběh závisí na konstrukci vozidla a na podmínkách, ve kterých je provozován. Působení těchto provozních sil nesmí vyvolat nadměrné deformace karoserie ani trvalé deformace žádné její části. Důležitou podmínkou je, aby bylo provozní zatížení karoserie zachycováno v pružném (lineárním) rozsahu deformací. Základním ukazatelem tuhosti a pevnosti karoserie jsou její vlastnosti, které přísluší statickému zatěžování v rozsahu předpokládaných provozních sil. Snahou je minimalizovat její hmotnost při zachování požadované tuhosti, respektive docílení pokud možno vyrovnaného napětí pod mezí kluzu ve všech jejích částech a při všech uvažovaných způsobech statického zatížení.

Na statickém zatížení karoserie se podílí tíhové síly agregátů a výbavy vozidla, kterými se rozumí např.: spalovací motor a jeho příslušenství, chladicí soustava, hnací ústrojí, nápravy a jejich zavěšení, palivová nádrž, akumulátor, vlastní hmotnost karoserie, hmotnost posádky a zavazadel atd. Tato zatížení působí v působíštích dle konstrukce vozidla. Jestliže je vozidlo v klidu, poté jsou s těmito silami v rovnováze vertikální síly od vozovky, které působí na karoserii přes pružiny a reakce v zavěšení kol. Toto zatížení působí prakticky vždy symetricky k podélné rovině symetrie vozidla a způsobuje tedy vertikální ohyb karoserie.



Obr. 1.1 Schéma vertikálního zatížení karoserie

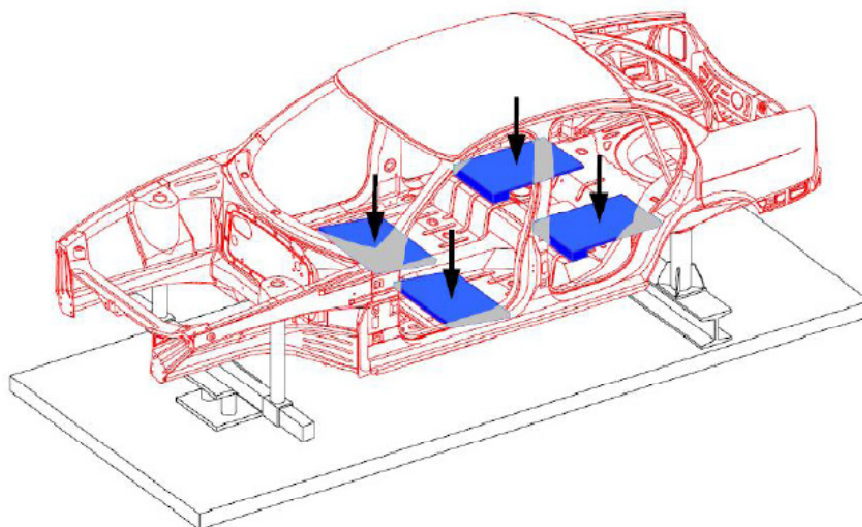
Krutové zatížení je dalším význačným druhem statického zatížení. Vzniká např. při najetí kola na výstupek nebo propadlinu na vozovce. Maximální statický krutící moment na karoserii vznikne při úplném odlehčení jednoho kola podle obr. 1.2.



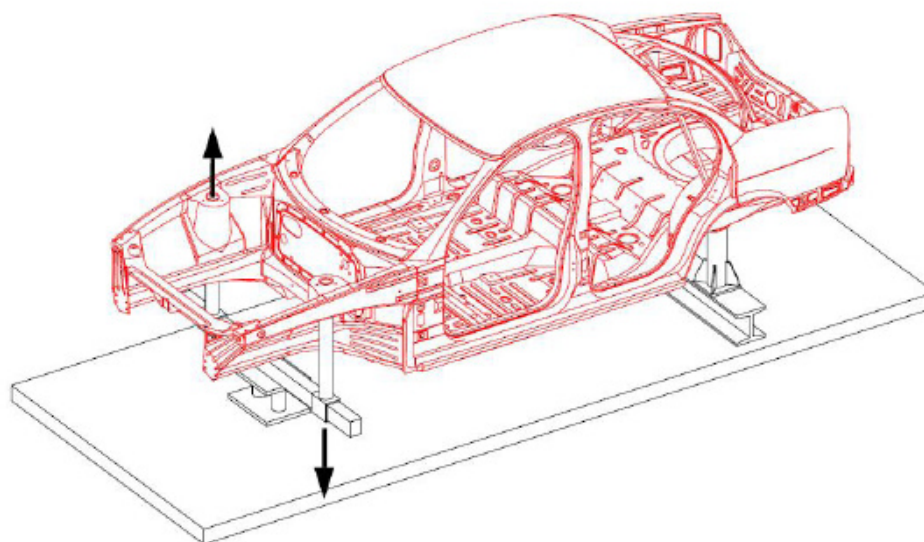
Obr. 1.2 Schéma torzního zatížení

Na karoserii však při provozu působí i síly dynamického charakteru, které vyvolávají mnohem větší namáhání. I přes tuto skutečnost se zkoušky tuhostních vlastností karoserie většinou uvažují při jednoduchých zatěžovacích stavech, kterými jsou:

- svislý ohyb – zatížení karoserie symetrické k podélné rovině souměrnosti
- krut – zatížení karoserie momenty kolem podélné osy



Obr. 1.2 Schematické znázornění zkoušky – ohyb karoserie



Obr. 1.3 Schematické znázornění zkoušky – krut karoserie

1.2 Torzní tuhost karoserie

Obecně je tuhost definována jako poměr síly a deformace touto silou vyvolané. O torzní tuhost se jedná tehdy, je-li deformace, v tomto případě úhlové zkroucení, způsobena zkrutným momentem.

Při běžném provozu vozidla dochází k zatěžování jeho karoserie provozním namáháním, které může být vyvoláno vnějšími podněty, kterými jsou např. nerovnosti vozovky, jízda zatáčkou, případně působením od součástí ke karoserii upevněných, jako je motor, hnací ústrojí aj. Působí-li zatěžovací síly na rameni o určité vzdálenosti od podélné roviny souměrnosti, pak následkem toho vzniká momentové zatížení vyvolávající určité úhlové kroucení karoserie.

1.2.1 Faktory ovlivňující torzní tuhost karoserie

Torzní tuhost karoserie ovlivňuje kromě jejího konstrukčního provedení a použitých materiálů i celá řada dalších faktorů. Samotný skelet karoserie vykazuje určitou tuhost, která se zvětšuje po připojení dalších částí, kterými jsou např.: motor s převodovkou, palubní deska, aj. I způsob uchycení předního a zadního skla, který přešel od montáže do gumového těsnění k lepení speciálními tmely, má nemalý vliv na její velikost. K dalším nezanedbatelným faktorům patří např.: vhodná konstrukce závěsů a zámků dveří, víka motoru a zavazadlového prostoru, použití rozpěrné tyče mezi předními tlumiči, popř. pěnové výplně v dutinách karoserie, které mj. tlumí hluk a vibrace, atd.

1.2.2 Vliv na jízdní vlastnosti

Optimální jízdní vlastnosti osobního automobilu jsou dány především vhodným rozložením zatížení mezi jednotlivá kola a přenosem sil působících mezi koly a vozovkou při různých provozních situacích. Typickým příkladem je průjezd zatáčkou, kdy z důvodu polohy těžiště automobilu v určité výšce nad rovinou vozovky dochází ke vzniku klopného momentu, který způsobuje změnu radiálních zatížení jednotlivých kol. Tyto síly zajišťují neustálý styk kola s vozovkou, a tak ovlivňují bezpečný průjezd zatáčkou. Proto musí být pro všechny tyto stavy vhodně nastavena a řešena soustava pružin, tlumičů a stabilizátorů, díky čemuž je docíleno požadovaných hodnot klopné tuhosti náprav a je tak zabezpečen trvalý styk kol s vozovkou. Pro zajištění dobrých jízdních vlastností je tedy důležité, aby zůstaly tyto parametry podvozku při provozu neměnné. Na ně má velký vliv kromě opotřebení jednotlivých podvozkových součástí a vůlí v uložení právě i tuhost karoserie. Pokud se karoserie kroutí nebo ohýbá, dochází ke změně polohy uchycení náprav a tím i ke změně parametrů podvozku.

2. Princip měření torzní tuhosti karoserie na ÚADI

Měřicí metodika vyvinutá na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství FSI VUT v Brně je převážně určena k mobilnímu měření torzní tuhosti karoserie kompletního automobilu. Ten je umístěn na speciálních měřících rámech (obr. 2.1), které byly zkonstruovány za účelem zajištění přesné vzdálenosti mezi reakcemi jednotlivých kol. Rámy působí prostřednictvím navařených břitů na soustavu tenzometrických vah Tanner (obr. 2.3). Zatěžovacího momentu je docíleno pomocí hydraulického zvedáku (obr. 2.2), vyvolávajícího zdvih kola přední nápravy (obr. 2.4).



Obr. 2.1 Měřící rámy



Obr. 2.2 Hydraulický zvedák



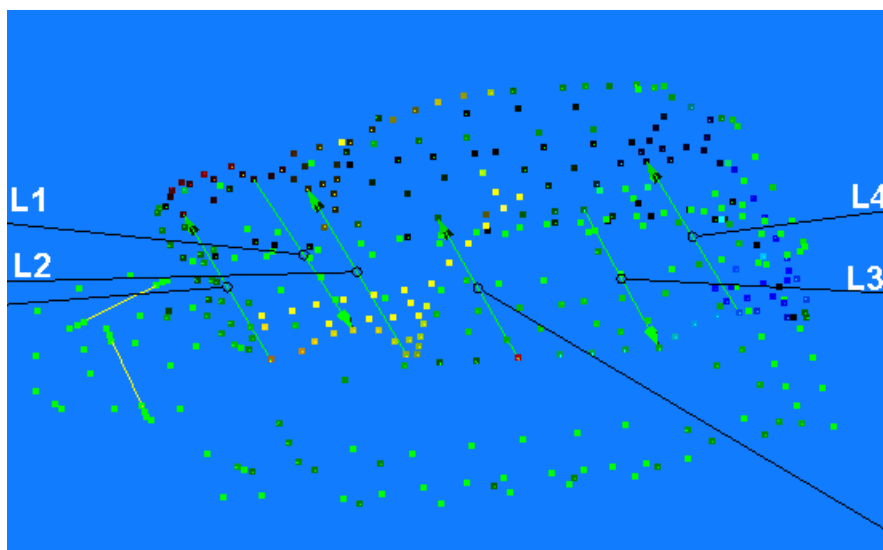
Obr. 2.3 Soustava tenzometrických vah Tanner



Obr. 2.4 Způsob zvedání kola a umístění tenzometrických vah pod měřicími rámy

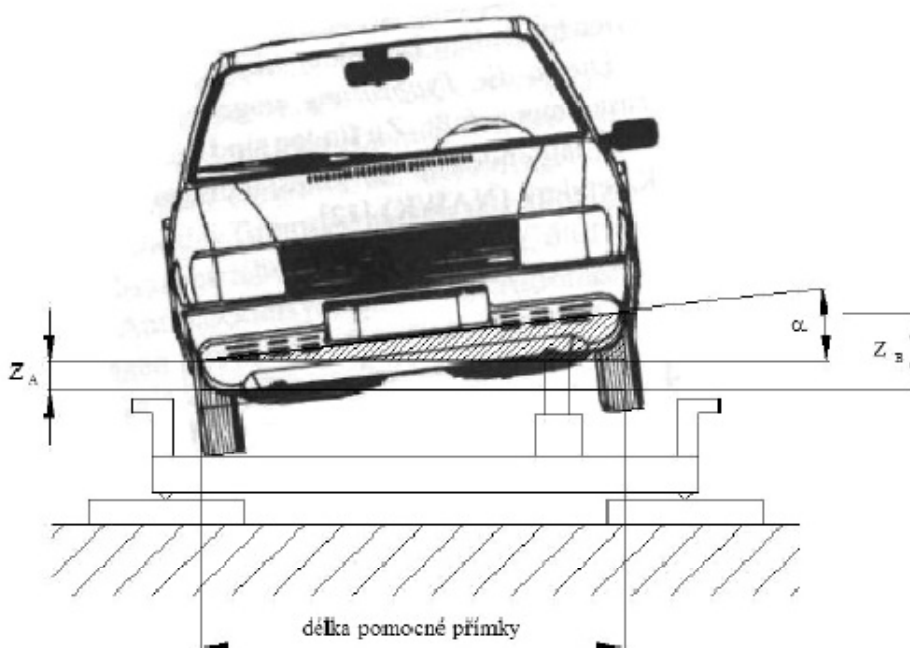
Ze známých reakcí naměřených tenzometrickými vahami, které jsou umístěny pod měřicími rámy příslušejícími jednotlivým nápravám a jejich vzájemných vzdáleností, lze podle výpočetních vztahů uvedených v literatuře [8] vypočíst daný zatěžovací moment.

Vzniklé deformace karoserie se změří a vyhodnotí pomocí optického systému TRITOP, jenž je popsán v kapitole 3.



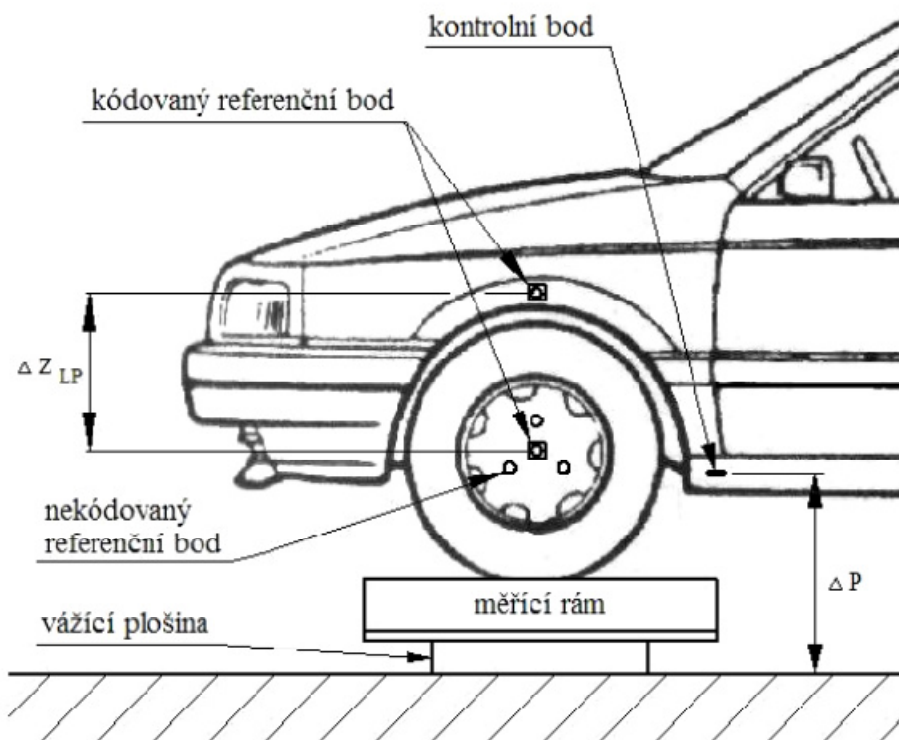
Obr. 2.5 Programové prostředí systému TRITOP – pomocné přímky k určení úhlu zkroucení (obrázek převzat z [8])

Tuhost karoserie se poté spočte z podílu příslušného zatěžovacího momentu a rozdílu úhlů natočení přímek mezi přední a zadní nápravou. Ve výpočtových vztazích (dle literatury [8]) je však nutné zohlednit skutečnost, že během zatěžování karoserie dochází i k naklápění celého vozidla.



Obr. 2.6 Schéma pro výpočet úhlu klopení

Tato měřicí metoda umožňuje určit nejen celkovou torzní tuhost vozidla, ale i klopnou tuhost náprav, která je dána tuhostí pružin a stabilizátorů. V tomto případě se pro příslušné zatěžovací momenty vypočítají pomocí hodnot vzdáleností mezi jednotlivými koly a blatníky (ΔZ_{LP} , obr. 2.7) úhly naklopení karoserie vůči nápravě (viz. literatura [8]).

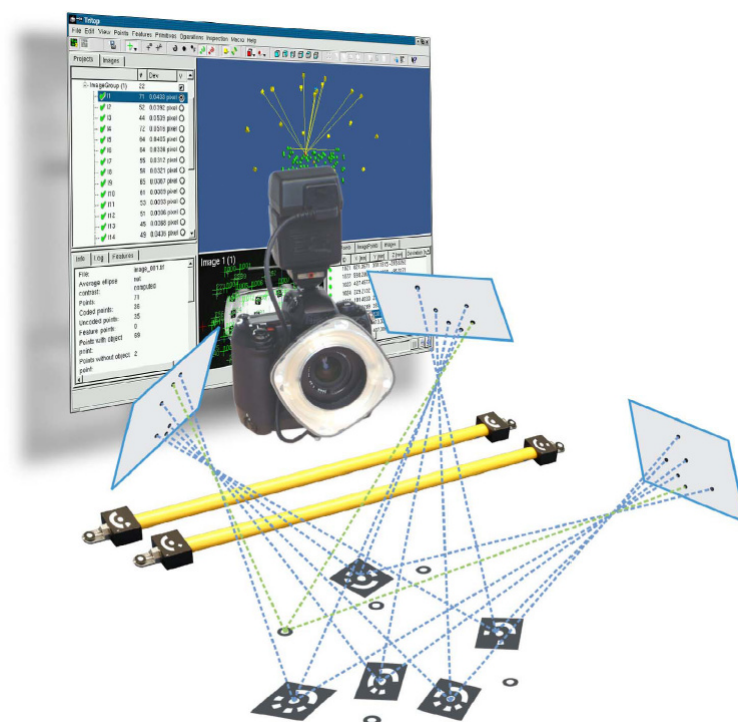


Obr. 2.7 Měření klopné tuhosti náprav

3. Měřicí systém TRITOP

Měřicí systém TRITOP je přenosný optický měřicí systém určený k přesnému bezkontaktnímu měření polohy diskrétních bodů, kontrastních čar a viditelných značek na měřeném objektu. Tato mobilní technologie se nejčastěji využívá k efektivnímu měření pro aplikace kontroly kvality, digitalizaci a deformační analýzy.

Proces měření je založen na principech fotogrammetrie. Měřený objekt, který je označený optickými body, je nasnímán digitálním fotoaparátem z různých pozic v prostoru. Ze sady nafotografovaných digitálních snímků systém TRITOP vypočítá pozice fotoaparátu náležící jednotlivým snímkům a 3D souřadnice měřených bodů na objektu. Pomocí tohoto systému lze měřit objekty o velikosti 0,1...10 metrů.



Obr. 3.1 Měřicí systém TRITOP

Měřicí systém TRITOP se skládá z těchto součástí:

- digitální fotoaparát s vysokým rozlišením, vyměnitelným objektivem se stálou ohniskovou vzdáleností a bleskem pro optimální nasvícení měřeného objektu;
- paměťové medium (PCMCIA) pro přenos dat z fotoaparátu do PC;
- kódované referenční body, z nichž každý má své identifikační číslo, dle kterého jsou systémem TRITOP automaticky rozeznány;
- nekódované referenční body k získání prostorových souřadnic důležitých částí měřeného objektu;
- kalibrační tyče pro určení měřítka;
- výkonné PC a aplikační software pro analýzu a vyhodnocení sad snímků.

3.1 Sestava fotoaparátu

Součásti sestavy fotoaparátu jsou:

- fotoaparát Nikon D 200;
- objektiv Nikon NIKKOR 24mm 1:2,8;
- blesk Nikon Speedlight SB-800;
- paměťová karta CompactFlash SanDisk Extreme III 1GB.

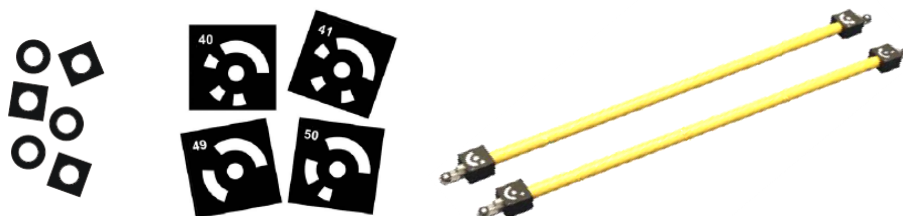
Před samotným fotografováním měřeného objektu je důležité správné nastavení clony dle charakteru světelných podmínek, které by se během měření neměly měnit a ohniskové vzdálenosti pro určitou vzdálenost, ze které bude měřený objekt snímán. Aby nebyla ovlivněna přesnost měření, musí tyto hodnoty zůstat v průběhu celého měření neměnné.

3.2 Referenční body a kalibrační tyče

Kódované referenční body slouží k identifikaci jednotlivých snímků a určení příslušné polohy fotoaparátu. Používají se ve specifických sadách: 100 (10 bitové), 300 (12 bitové), 420 (15 bitové), kde například sada 100 obsahuje 100 kódovaných referenčních bodů definovaných identifikačními čísly od 0 do 99.

Nekódované referenční body se umísťují na měřený objekt na taková místa, jejichž prostorové souřadnice chceme zjistit. K tomuto účelu lze samozřejmě využít i body kódované.

Referenční body se na měřený objekt připevňují pomocí magnetu, přilepením, případně jsou součástí speciálních adaptérů.



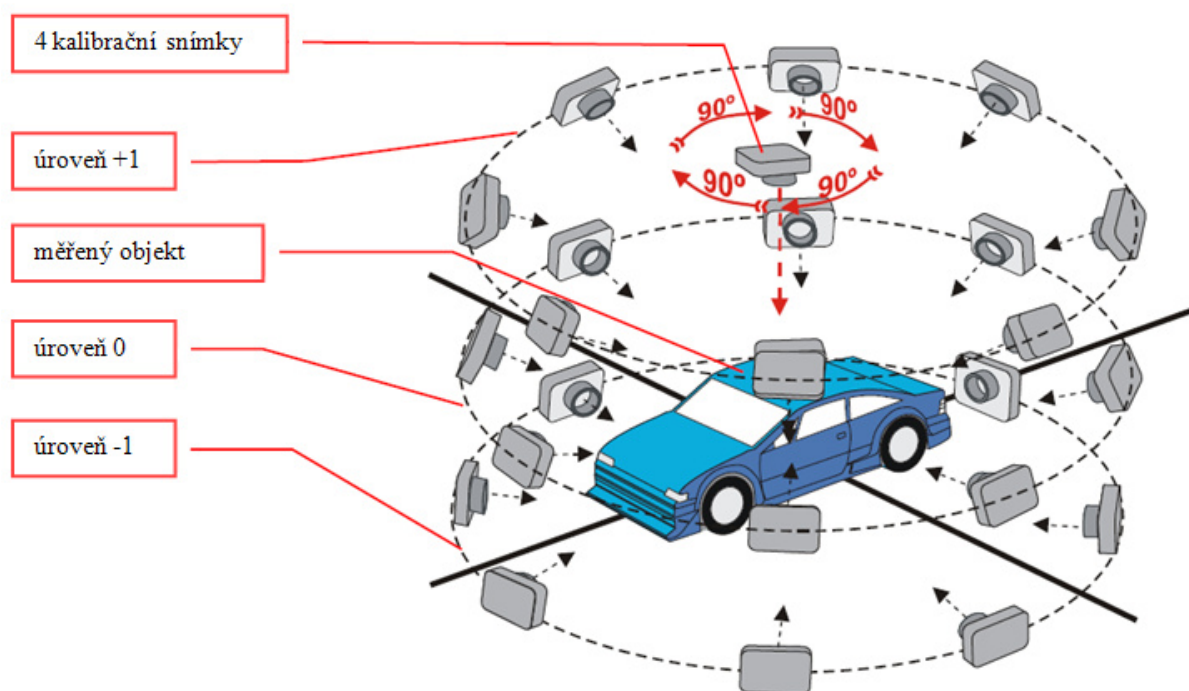
Obr. 3.2 Nekódované a kódované referenční body, kalibrační tyče

Kalibrační tyče obsahují kódované referenční body s velmi přesně určenou vzájemnou vzdáleností a slouží k určení měřítka snímáného objektu. Umísťují se vždy do jeho blízkosti, případně přímo na něj. Na poloze kalibračních tyčí nezáleží, měli by však být viděny na co největším počtu snímků. Podle velikosti měřeného objektu se volí sada kódovaných referenčních bodů, včetně příslušných kalibračních tyčí, jejichž definice je nutná vždy při zakládání nového projektu v softwaru TRITOP.

3.3 Snímání 3D objektu

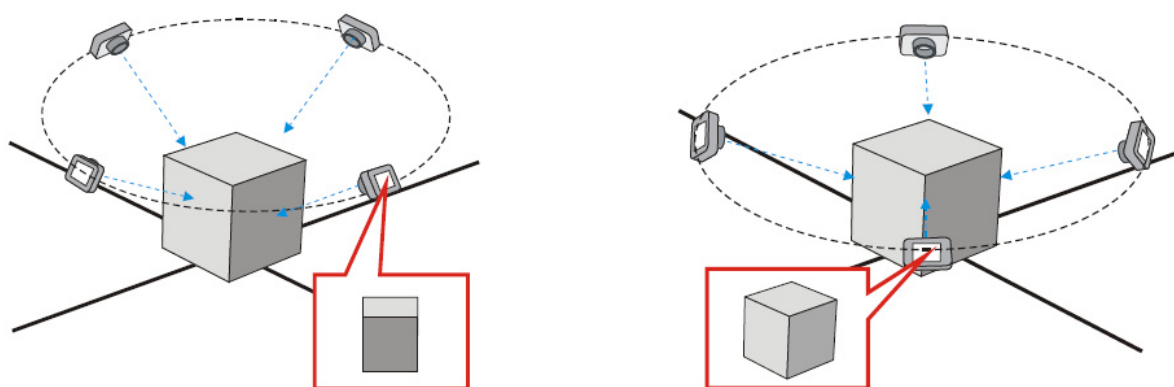
Při snímání objektu je důležité nejprve vytvořit čtyři kalibrační snímky pootočené o 90° kolem optické osy. Většinou se zhotovují z horní pozice. Pokud se nám však nepodaří této pozice dosáhnout, vybereme pozici takovou, ze které bude viditelný co největší počet kódovaných referenčních bodů. Tyto body by měli být rovnoměrně rozmístěny po celé ploše snímků.

Další snímky se pořizují dle velikosti snímaného objektu ve více úrovních (obr. 3.3). Při fotografování je tedy vhodné držet se vždy určitého řádu. Objekt se nejprve nasnímá z úrovně 0, kdy se při pořizování jednotlivých snímků postupuje v předem zvoleném směru, např. proti směru hodinových ručiček. Poté se pokračuje v úrovních -1 a +1. Pro jednotlivé úrovně snímání není stanovený předepsaný počet snímků, je však důležité splnění určité podmínky. Na každém snímku musí být zachyceno a rozpoznáno alespoň 5 kódovaných referenčních bodů a v rámci celého projektu je nutné, aby byl každý referenční bod alespoň na 3 snímcích.

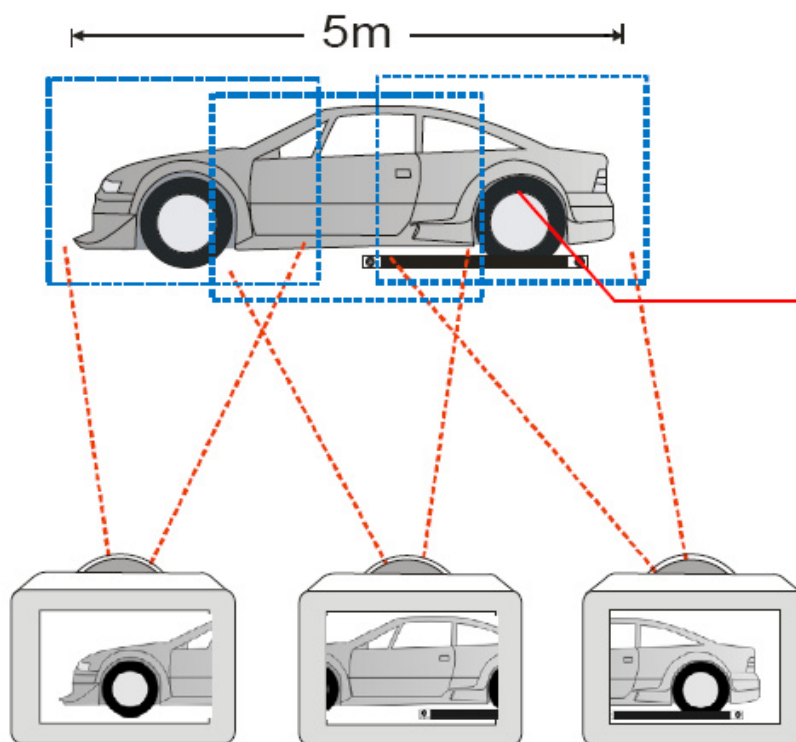


Obr. 3.3 Postup při snímání 3D objektu v jednotlivých úrovních

Při snímání 3D objektu je obzvláště důležité, aby byly na jednotlivých snímcích viditelné navazující plochy (obr. 3.4). Některé snímky by tedy měly směřovat také proti hranám, čímž je zajištěna viditelnost obou ploch, které hranu tvoří. Pokud bychom ovšem pro požadované měření nepotřebovali některou z ploch objektu, je nutné i na tuto plochu umístit kódované referenční body. Zajistí se tím dokonalejší provázání modelu měřeného objektu a tím i vyšší přesnost souřadnic analyzovaných bodů. Při snímání rozměrnějších objektů se využívá procedura skládání, kdy je objekt snímán po částech (obr. 3.5). Dodrženy však musí být všechny výše uvedené podmínky.



Obr. 3.4 Svázání snímků přes hrany



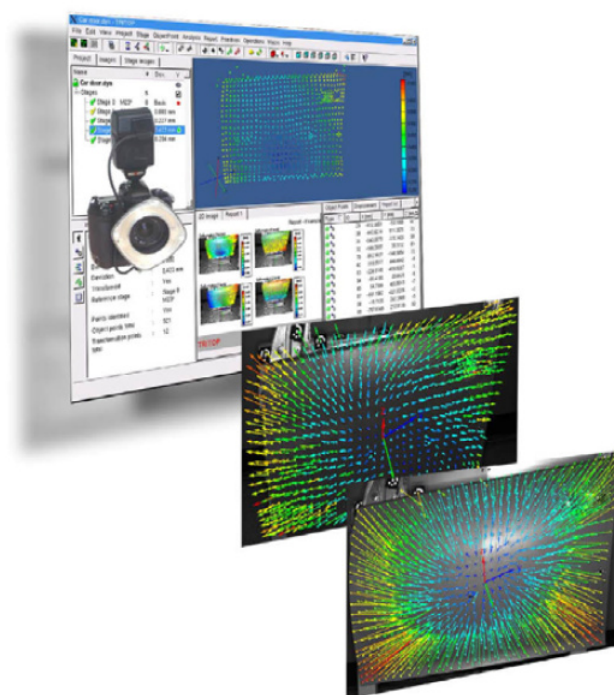
Obr. 3.5 Skládání snímků při focení velkého objektu

U objektů, jež mají větší rozměry a komplikovanější tvar, je nutné při rozmisťování kódovaných referenčních bodů i jejich následném snímání dávat obzvláště pozor. Snadno totiž může dojít k tomu, že se objekt nepodaří nafotit tak, aby na sebe všechny snímky navazovaly. V tomto případě se musí dodatečně nafotit patřičné chybějící snímky, importovat je do programu TRITOP a přepočítat daný projekt.

Detailnější popis měřicího zařízení TRITOP, pravidel při snímání objektu a všech jeho softwarových funkcí, je uveden v literatuře [11].

3.4 TRITOP Deformation

Software TRITOP Deformation umožňuje analýzu deformací objektu srovnáváním různých statických stavů objektu. Digitální obrazy z různých pohledů jsou zaznamenávány pomocí speciálního digitálního fotoaparátu. Každá sada snímků zachycuje jeden stav objektu, tzn., že představuje samostatnou deformační stage a tvoří v systému TRITOP samostatný projekt. Princip měření je zde rovněž založen na značkách referenčních bodů umístěných na objektu. 3D souřadnice těchto optických bodů jsou systémem automaticky vypočítávány a je srovnávána jejich poloha při různých stavech. Výsledkem je posuv objektů, který může být ve výstupních protokolech zobrazen jako barevná odchylka bodů.



Obr. 3.6 Systém TRITOP Deformation

3.4.1 Oblasti využití

Systém TRITOP Deformation se využívá k:

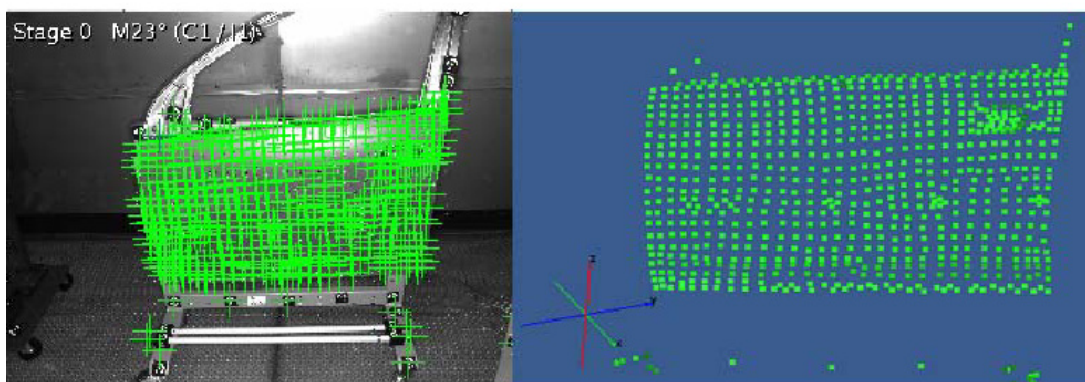
- deformační analýze komponentů a prototypů měřitelných pomocí systému TRITOP;
- deformační analýze komponentů s velkým počtem naměřených bodů;
- deformační analýze komplexních objektů, které nelze změřit tradičními metodami;
- deformační analýze po mechanickém nebo tepelném zatížení (např. v klimatické komoře);
- deformační analýze kvazi-statických stavů.

3.4.2 Měřicí procedura

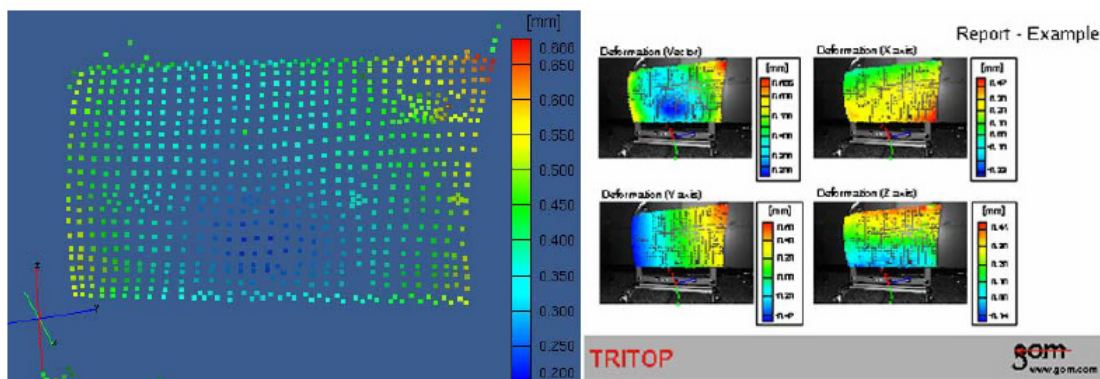
Po přípravě měřeného objektu k měření deformací jsou požadované obrazy nasnímány speciálním digitálním fotoaparátem. Měřený objekt je poté vystaven deformační situaci, kterou může být například zahřívání nebo ochlazování v klimatické komoře a takto modifikovaný objekt je fotogrammetricky zaznamenán. Tento postup je opakován, dokud nejsou zachyceny všechny požadované stavy objektu. Tyto stavy tvoří v deformačním projektu jednotlivé stages. Systémem TRITOP Deformation jsou vypočítány 3D souřadnice referenčních bodů.

Při vyhodnocování deformace objektu je třeba všechny stages vyrovnat s referenční stage. K tomu slouží globální transformační body, které je nutno zvolit a jejichž pozice musí být během celého měření neměnné. Pro každou stage jsou nekódovaným referenčním bodům přiděleny libovolné ID. Tyto body je třeba přečíslovat, aby stejné body měli ve všech stages stejné ID.

Pole posuvu definované výběrem oblasti bodů (obr. 3.8) označuje oblast, pro kterou systém zobrazí vypočítanou deformaci během všech stages. Jakmile dojde k identifikaci stage, je deformace vypočítána automaticky. V poli posuvu se v okně 3D objektu barevně zobrazí odchylka bodů od stage zvolené jako deformační reference. Výsledek je shrnut pomocí šablon do protokolů, které lze exportovat pro další použití (obr. 3.9). Další informace jsou uvedeny v literatuře [12].



Obr. 3.8 Vybraná oblast analyzovaných bodů na měřeném objektu



Obr. 3.9 Ukázka výstupních protokolů z deformačního modulu systému TRITOP

Tato část práce podléhá utajení!

Závěr

V rámci řešení diplomové práce je nejprve nastíněna problematika týkající se namáhání karoserie osobního automobilu při běžném provozu a s tím spojené nároky na její dostatečnou tuhost. Kromě popsání vlivu torzní tuhosti karoserie na jízdní vlastnosti a s tím související bezpečnost silničního provozu, jsou uvedeny i faktory, ovlivňující její velikost. Dále je představena metodika vyvinutá na ÚADI FSI VUT pro měření torzní tuhosti karoserie pomocí systému TRITOP, včetně jeho principu i obecných pravidel a zásad při práci s tímto optickým měřicím systémem.

Cílem této diplomové práce byla realizace měření torzní tuhosti karoserie v dynamické zkušebně Škoda Auto a.s., zpracování výsledků měření a porovnání dosud používané metodiky s metodou optickou. Po podrobnějším seznámení se stávající metodikou používanou v dynamické zkušebně a s technickými možnostmi systému TRITOP se došlo k závěru, že nelze metodiku vyvinutou na ÚADI FSI VUT přímo aplikovat pro dané měřicí podmínky dynamické zkušebny. Měření pomocí systému TRITOP bylo nutné přizpůsobit tak, aby byli vzájemně naměřené hodnoty deformací z požadovaných míst na karoserii, nově vyvinutou metodikou a stávající metodikou používanou ve Škoda Auto a.s., co nejobjektivněji porovnatelné.

Nově navržená metodika měření s využitím modulu TRITOP Deformation byla sestavována v souladu se základními pravidly pro používání měřicího systému a s ohledem na dosažení co nejvyšší možné přesnosti měření. Měření torzní tuhosti karoserie pomocí systému TRITOP je oproti stávající metodice používané v dynamické zkušebně v mnoha ohledech náročnější. Zejména v zajištění stálých světelných podmínek během měření na měřicím pracovišti a dostatečného prostoru kolem měřené karoserie, který je nutný k jejímu nasnímání ze všech požadovaných úhlů (pozic). Samotné měření torzní tuhosti karoserie je i značně časově náročnější, avšak poskytuje informace o deformaci celé karoserie, včetně hůře přístupných míst, např.: v oblasti zasklení oken, v oblasti dveří, zámků apod., a tím i o deformacích v bodech, pro jejichž zjištění je třeba v dynamické zkušebně realizovat další specifická měření. Umožňuje i detailní analýzy deformačních polí za účelem přímého porovnání s MKP pro verifikaci s výpočtovými modely. S uvažováním všech těchto okolností vychází časová náročnost v porovnání s celkovým časem všech ostatních měřicích zkoušek výhodněji.

Tato diplomová práce ověřila stávající metodiku měření torzní tuhosti karoserie v dynamické zkušebně Škoda Auto a.s.. Jako předmět další diplomové práce by bylo zajímavé zpracovat měření, které by vedlo k přímému porovnání deformací karoserie s MKP nebo k ověření deformací těch částí karoserie, které se v dynamické zkušebně měří a vyhodnocují prostřednictvím dalších měřicích zkoušek.

Seznam použitých zdrojů

- [1] APETAUR, M., HANKE, M., ROST, M., KEJVAL, Z. *Karosérie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993
- [2] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J., BURŠA, J. *Mechanika těles: Pružnost a pevnost I*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 287 s. ISBN: 80-214-2592-X
- [3] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 434 s. ISBN: 80-238-5273-6
- [4] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2001. 575 s. ISBN: 80-238-6573-0
- [5] REIMPELL, J., STOLL, H., EDWARD, A. *Engineering Principles: the Automotive Chassis*. Arnold, London 1996. ISBN 0-340-61443-9
- [6] KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV. : Statistika a pravděpodobnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN: 8021425229
- [7] VOLEK, A. *Metodika ustavení souřadného systému pro optické měřicí zařízení Pontos*. Brno: VUT-FSI-UK, 2008. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný.
- [8] BOTH, A. *Měření zkrutné tuhosti karoserie*. Brno: VUT-FSI-ÚADI, 2005. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Ph.D.
- [9] MRÁZEK, R. *Určení zkrutné tuhosti karoserie s využitím fotogrammetrického zařízení Tritop*. Brno: VUT-FSI-ÚADI, 2006. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Ph.D.
- [10] SOJKA, P. *Určení opakovatelnosti měření zkrutné tuhosti karosérie s využitím fotogrammetrického zařízení TRITOP*. Brno: VUT-FSI-ÚADI, 2007. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Blaták.
- [11] GOM mbH: User manual TRITOP v5.3.0, GOM Optical Measuring Techniques, Germany 2004
- [12] GOM mbH: User manual TRITOP DEFORMATION v5.3.0, GOM Optical Measuring Techniques, Germany 2004

Internetové stránky a publikace

- [13] MCAE Systems s.r.o., Tritop. [online]. [cit. 2009-03-12]. 2009. Dostupné z <<http://www.mcae.cz/katalog.php?lang=cs&id=143>>
- [14] THOMPSON L. L., LAMPERT J. K., LAW E. H. *Design of a Twist Fixture to Measure the Torsional Stiffness of a Winston Cup Chassis*. [online]. [cit. 2009-03-16]. Department of Mechanical Engineering, Clemson University, 1998, SAE 983 054. Dostupné z <<http://www.ces.clemson.edu/~lonny/pubs/conference/sae983054.pdf>>
- [15] THOMPSON L. L., RAJU S., LAW E. H. *Design of a Winston Cup Chassis for Torsional Stiffness*. [online]. [cit. 2009-03-08]. Department of Mechanical Engineering, Clemson University, 1998, SAE 983 053. Dostupné z <<http://www.ces.clemson.edu/~lonny/pubs/journal/sae983053.pdf>>

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D	třídimenzionální	
GOM	Gessellschaft für optische Messtechnik	
ID	identifikační číslo kódovaného referenčního bodu	
L	označení bodu na levé straně karoserie	
P	označení bodu na pravé straně karoserie	
PN	přední náprava	
ZN	zadní náprava	
B_i	[mm]	podélná vzdálenost i -té přímky od počátku souřadného systému
C	[N/m]	tuhost
C_K	[Nm/°]	torzní tuhost
F	[N]	zatěžovací síla
L	[mm]	příčná vzdálenost protilehlých měřených bodů
L_i	[mm]	příčná vzdálenost i -té dvojice protilehlých měřených bodů
M_t	[Nm]	zkrutný moment
r	[m]	vzdálenost zatěžovací síly od otočného čepu konzoly
X_{Li}	[mm]	x-souřadnice levého i -tého bodu
X_{Pi}	[mm]	x-souřadnice pravého i -tého bodu
Y_{Li}	[mm]	y-souřadnice levého i -tého bodu
Y_{Pi}	[mm]	y-souřadnice pravého i -tého bodu
x,y,z	[mm]	souřadný systém objektu
α	[°]	úhlové natočení přímky protínající měřené body
$\alpha_{iDOLEVA}$	[°]	úhlové natočení i -té přímky při natočení karoserie vlevo
$\alpha_{iDOPRAVA}$	[°]	úhlové natočení i -té přímky při natočení karoserie vpravo
α_{iVYSL}	[°]	výsledné úhlové natočení i -té přímky
α_{PN}	[°]	úhlové natočení přímky příslušející přední nápravě
α_{ZN}	[°]	úhlové natočení přímky příslušející zadní nápravě
ΔM_t	[Nm]	změna zkrutného momentu během měření
ΔP	[mm]	orientační vzdálenost určující zdvih karoserie

Δz_L	[mm]	deformační posuv bodu v ose z (na levé straně karoserie)
Δz_{Li}	[mm]	deformační posuv i -tého bodu v ose z (na levé straně karoserie)
ΔZ_{LP}	[mm]	změna polohy mezi levým předním kolem a blatníkem
Δz_P	[mm]	deformační posuv bodu v ose z (na pravé straně karoserie)
Δz_{Pi}	[mm]	deformační posuv i -tého bodu v ose z (na pravé straně karoserie)
θ	[°]	úhel zkroucení mezi přední a zadní nápravou